

**PERHITUNGAN JEMBATAN LAYANG (FLYOVER)
DENGAN TIPE BOX GIRDER BETON PRATEGANG (PRESTRESSED CONCRETE)
UNTUK PERTEMUAN JALAN MAYOR ALIANYANG DAN JALAN SOEKARNO-HATTA
KABUPATEN KUBU RAYA**

Wiratama Adi Prasetya¹⁾ Elvira, ²⁾ Gatot Setya Budi²⁾
wira_sipil@yahoo.co.id

ABSTRACT

Projection of traffic current is increasing of vehicle volume every year and for reducing conflict of perpendicular in junction of Jalan Mayor Alianyang and Jalan Sukarno-Hatta in Kubu Raya regency. Flyover become a alternative solution and a plan that can be a Bridge class 1 that has load of plan traffic current 100% from total load before. With width of highways 7,00 m (double ways) then must uses 2 unit box girder shaped trapesium with extend of bridge 60 m with spesification : tall of girder 2,80 m, width of bridge 2 x 8,50 m, quality of prestressed concrete box girder K-500 ($f_c=41,50$ MPa), and quality of plat concrete/slab of floor bridge K-500 ($f_c = 41,50$ MPa).

It has 23 part in calculation proses and analysis flyover structure that must composed then can give of subscribing about applied of prestressed concrete structure in box girder section.

Based on result of calculation and analisis of the first prestressing force is 85290,81 kN, it has total of loss prestressing 22,02 %, so remain of effective 50128,16 kn of prestressing force from jacking force result 64285,74 kN. Effective prestressing used 70%, it has 45000,02 kN of prestressing force of jacking force result 100% UTS is 113159,20 kN. In a box girder section uses prestressing tending consists: 28 tendon with spesification of diameter nominal strands 12,7 mm (0,5'), 22 wire with uncoated 7 wire kind of super strands ASTM A-416-06 grade 270 each 1 tendon and 14 tendon with specification of diameter nominal strands 12,7 mm (0,5'), 31 wire of kind uncoted 7 wire super strands ASTM A-416-06 grade 270 each 1 tendon. Then for longitudinal reinforcement in above of plat uses D19-200 mm, plat of wall or web section uses D19-150 mm, and plat of down in wall section uses D19-200 mm, stretch of reinforcement uses diameter is 16 mm with varian of distance in pillar area till a middle of span: 100 mm and 200 mm, eventough sum of crossbar that need for bursting force 5 D 16 mm in each 1 anchorage.

Keywords : Flyover, Prestress, Box Girder.

1. PENDAHULUAN

Dalam perhitungan jembatan layang (Flyover dengan Tipe Box Girder Beton Prategang (Prestressed Concrete) untuk Pertemuan Jalan Mayor Alianyang dan Jalan Soekarno-Hatta Kabupaten Kubu Raya ini menggunakan struktur tipe gelegar kotak (box girder) dengan beton prategang (Prestressed Concrete), bentuk penampang dari box girder umumnya persegi atau trapesium. Tipe box girder sangat cocok untuk jembatan bentang panjang. Pemilihan ini karena bentuknya yang langsing, memiliki kekuatan menahan momen lentur yang lebih tinggi dan kekakuan torsional yang lebih baik dibandingkan bentuk lainnya serta dapat direncanakan terdiri dari 1 sel (single cell) atau banyak sel (multi cell).

Jembatan layang box girder beton umumnya dipadukan dengan sistem prategang. Konsep prategang adalah memberikan gaya tarik awal pada tendon sebagai tulangan tariknya serta memberikan momen perlawanan

dari eksentrisitas yang ada sehingga selalu tercipta tegangan total negative baik serat atas maupun bawah yang besarnya selalu di bawah kapasitas tekan beton. Struktur akan selalu bersifat elastic karena beton tidak pernah mencapai tegangan tarik dan tendon tak pernah mencapai titik plastisnya.

1.1. Gelegar Kotak (Box Girder)

Jembatan layang gelegar kotak tersusun dari gelegar longitudinal dengan slab di atas dan di bawah yang berbentuk rongga (hollow) atau gelegar kotak. Tipe gelegar kotak (box girder) digunakan untuk jembatan bentang panjang. Pada umumnya untuk bentang sederhana dengan panjang 40 ft (≥ 12 meter), tetapi bentang box girder beton bertulang lebih ekonomis pada bentang 60 – 100 ft ($\geq 18 - 30$ meter) dan didesain sebagai struktur menerus di atas pilar. Gelegar kotak beton prategang dalam desain lebih menguntungkan untuk bentang menerus dengan panjang bentang lebih dari 300

ft (≥ 100 m). Keutamaan *box girder* adalah pada tahanan terhadap beban torsi.



Gambar 1. Bentuk struktur *box girder*

Gelagar kotak merupakan bagian tertutup sehingga mempunyai ketahanan puntir yang tinggi tanpa kehilangan kekuatan menahan lendut dan geser. Selain itu, gelagar datar merupakan bagian terbuka yang secara efektif menahan lendut dan geser. Ortotropik dek, plat baja dengan pengaku membujur dan melintang sering digunakan untuk geladak pada gelagar kotak atau struktur dinding tipis pada slab beton untuk jembatan bentang panjang. Puntiran ditahan dalam dua bagian, yaitu puntir murni dan puntir tersembunyi. Ketahanan puntir murni untuk gelagar profil I bisa diabaikan. Untuk bagian tertutup seperti gelagar kotak, puntir murni harus dipertimbangkan, sesuai untuk jembatan lengkung atau jembatan bentang panjang. Di sisi lain, puntir tersembunyi untuk bagian kotak bisa diabaikan. Gelagar profil I mempunyai ketahanan tersembunyi tetapi tidak sebesar puntir murni pada bagian tertutup.

2. Perencanaan Beton Prategang

Ada 2 (dua) metode perencanaan beton prategang, yaitu

2.1. Working Stress Method (Metode Beban Kerja) ialah dengan menghitung tegangan yang terjadi akibat pembebanan (tanpa dikalikan dengan faktor beban) dan membandingkan dengan tegangan yang diijinkan. Tegangan yang diijinkan dikalikan dengan suatu faktor kelebihan tegangan (*overstress factor*) dan jika tegangan yang terjadi lebih kecil dari tegangan yang diijinkan tersebut, maka struktur dinyatakan aman.

2.2. Limit State Method (Metode Beban Batas) didasarkan pada batas-batas tertentu yang dapat dilampaui oleh suatu sistem struktur. Batas-batas ini diterapkan terutama

terhadap kekuatan, kemampuan layan, keawetan, ketahanan terhadap beban, api, kelelahan dan persyaratan-persyaratan khusus yang berhubungan dengan penggunaan struktur tersebut. Dalam menghitung beban rencana maka beban harus dikalikan dengan suatu faktor beban (*load factor*), sedangkan kapasitas bahan dikalikan dengan suatu faktor reduksi kekuatan (*reduction factor*).

Tahap batas (*limit state*) adalah suatu batas tidak diinginkan yang berhubungan dengan kemungkinan kegagalan struktur.

2.3. Baja Prategang



Gambar 2. Bentuk angkur pada baja prategang

Tabel 1. *Common Types from CPCI Metric Design Manual*

Tendon Type	Grade f_{pu} MPa	Size Design- nation	Nominal Dimension		Mass (kg/m)
			Diameter (mm)	Area (mm ²)	
Seven - wire Strand	1860	9	9.53	55	0.432
	1860	11	11.13	74	0.582
	1860	13	12.70	99	0.775
	1860	15	15.24	140	1.109
	1760	16	15.47	148	1.173
Prestressing Wire	1550	5	5.00	19.6	0.154
	1720	5	5.00	19.6	0.154
	1620	7	7.00	38.5	0.302
	1760	7	7.00	38.5	0.302
Deformed Prestressing Bar	1080	15	15.0	177	1.44
	1030	26	26.5	551	4.48
	1100	26	26.5	551	4.48
	1030	32	32.0	804	6.53
	1100	32	32.0	804	6.53
	1030	36	36.0	1018	8.27

Tabel 2. Karakteristik Baja Prategang

Strand Size	Ultimate Stress	Yield Stress	Cross Section Area	Ultimate Strength	Prestressing Force*						Nominal Weight								
					Jacking	Transfer	Anchorage	Effective**											
in	mm	ksi	MPa	ksi	MPa	kip	kN	kip	kN	kip	kN	kip	kN	lb/ft	kg/m				
0.5	12.7	270	1861	243	1675	0.153	98.71	41.3	183.7	33.0	146.8	30.5	135.7	28.9	128.6	26.8	119.2	0.52	0.775

2.3.1. Lentur

$$f_b = -\frac{P}{A} + \frac{P \cdot e}{W} + \frac{M}{W}$$

2.3.2. Geser

Tegangan akibat beban luar dinyatakan dengan persamaan :

$$f_c = -\frac{P}{A} \pm \frac{P \cdot e \cdot y}{I} + \frac{M \cdot y}{I}$$

2.3.3. Kehilangan Gaya Prategang

a. Immediate Elastic Losses (Kehilangan Prategang dalam Jangka Pendek)

Ini adalah kehilangan gaya prategang langsung atau segera setelah beton diberi gaya prategang. Kehilangan gaya prategang secara langsung ini disebabkan oleh :

- Perpendekan Elastic Beton (*Elastic shortening*)
- Kehilangan akibat friksi atau geseran sepanjang kelengkungan dari tendon, ini terjadi pada beton prategang dengan sistem post tension.
- Kehilangan pada sistem angkur, antara lain akibat slip diangkur

b. Time Dependent Losses

Ini adalah kehilangan gaya prategang akibat dari pengaruh waktu, yang mana hal ini disebabkan oleh :

- ✓ Rangkak (creep) pada beton
- ✓ Susut pada beton.
- ✓ Relaksasi baja prategang.

Karena banyaknya faktor yang saling terkait, perhitungan kehilangan gaya prategang (losses) secara eksak sangat sulit untuk dilaksanakan, sehingga banyak dilakukan metoda pendekatan, misalnya metoda lump-sum (AASHTO), PCI method dan ASCE-ACI methods.

2.4. Tata Letak Kabel (Tendon) Prategang

Tegangan tarik pada serat beton yang terjauh dari garis netral akibat beban layan tidak boleh melebihi nilai maksimum yang diijinkan oleh peraturan yang ada, seperti pada SNI 03 – 2847 – 2002 menetapkan :

Tegangan tarik serat terluar akibat beban layan $\leq \frac{1}{2} \sqrt{f'_c}$

2.5. Daerah Atas Eksentrisitas di Sepanjang Bentangan

Eksentrisitas rencana dari tendon (baja prategang) harus sedemikian rupa, sehingga tegangan tarik yang timbul pada serat penampang pada titik-titik kontrol sepanjang bentang balok sangat terbatas (tidak melampaui peraturan yang ditetapkan) atau sama sekali tidak ada (nol).

2.6. Pembesian End Block

Akibat stressing maka pada ujung balok terjadi tegangan yang besar dan untuk mendistribusikan gaya prategang tersebut pada seluruh penampang balok, maka perlu suatu bagian ujung block (*end block*) yang panjangnya maksimal sama dengan tinggi balok dengan seluruhnya merata selebar flens balok.

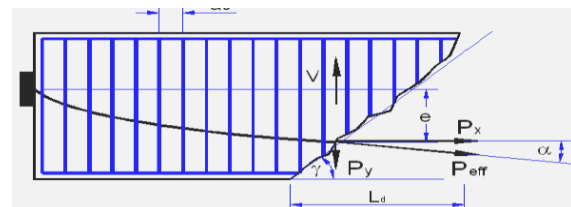
Pada bagian end block tersebut terdapat dua macam tegangan yang berupa :

1. Tegangan tarik yang disebut Bursting Zone terdapat pada pusat penampang di sepanjang garis beban
2. Tegangan tarik yang tinggi yang terdapat pada permukaan ujung end block, yang disebut Spalling Zone (daerah yang terkelupas)

Gaya prategang akibat jacking pada masing-masing cable :

$$P_j = P_0 \cdot n_s \cdot P_{bs}$$

2.6.1. Tinjauan Terhadap Geser



Gambar 3. Analisis pada geser

2.7. Pembebanan pada Jembatan

Penggunaan standar pembebanan yang akan dipergunakan ini memiliki aksi-aksi (beban, perpindahan dan pengaruh lainnya) dikelompokkan menurut sumbernya ke dalam beberapa kelompok, yaitu:

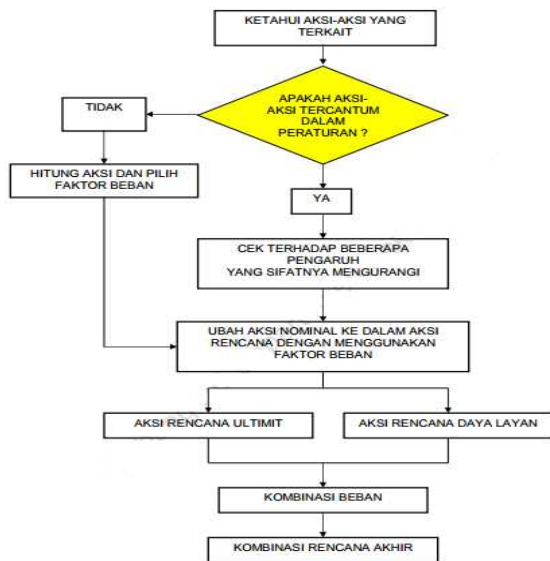
1. Aksi tetap; 2. Beban lalu lintas;
3. Aksi lingkungan; 4. Aksi -aksi lainnya

Dan aksi juga diklasifikasikan berdasarkan kepada lamanya aksi tersebut bekerja, yaitu:

1. Aksi tetap; 2. Aksi transien.

Kombinasi beban rencana dikelompokkan ke dalam kelompok-kelompok, yaitu:

1. kombinasi dalam batas daya layan
2. kombinasi dalam batas ultimit
3. kombinasi dalam perencanaan berdasarkan tegangan kerja

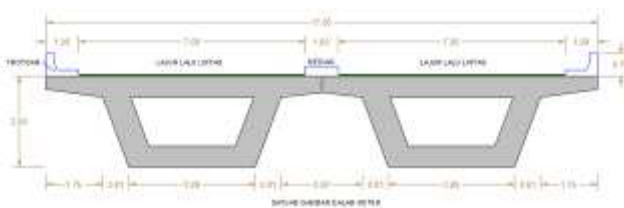


Gambar 4. Bagan alir untuk perencanaan beban jembatan

3. METODOLOGI PERENCANAAN

3.1. Perencanaan Awal (*Preliminary Design*)

yaitu mendefinisikan problem secara umum. Berisi gambaran umum mengenai jembatan layang box girder dengan struktur beton prategang (*Prestressed Concrete Box Girder Bridge*) yang akan direncanakan beserta spesifikasi yang digunakan. Di bawah ini adalah model potongan melintang dari jembatan yang akan dilakukan perhitungan dan analisisnya.



Gambar 5. Balok *box girder* beton prategang

3.2. Data Umum Jembatan

- Panjang bentang jembatan layang keseluruhan adalah 632 m tetapi perhitungan dan analisis dilakukan pada struktur atas (*superstructures*) bagian tengah dengan elevasi mendatar

setinggi 9 meter yang memiliki panjang 300 meter

- Kelas jembatan layang direncanakan jembatan kelas I. Dengan lebar jalur lalu lintas 7,00 m (lajur ganda) bermedial 1,00 m ditambah 1,00 m lebar trotoar untuk pejalan kaki dan sandaran pada kanan dan kiri jembatan.
- Panjang bentang jembatan = 300 meter
- Panjang balok *box girder* prategang = 300 meter/ 5 segmen = 60 meter
- Tebal slab lantai jembatan (h) = 0,65 meter
- Tebal aspal (h_a) = 0,05 meter
- Tinggi genangan air hujan (th) = 0,05 meter
- Tebal trotoar (h_t) = 0,20 meter

3.3. Data *Box Girder* Sebagai Balok Prategang

- γ Beton prategang = 25,50 kN/m³
- Mutu Beton prategang = K-500
- Kuat tekan beton = f_c' = $0,83 \times (500/10) = 41,50$ MPa
- Digunakan gelegar memanjang dengan penampang balok *box girder*

3.4. Data *Strand Cable* – Standar VSL (*Tendon Balok Prategang*)

- Jenis strand : Uncoated Seven Wire Super Strands ASTM A-416-06 Grade 270
- Tegangan leleh strand = $f_{py} = 1675$ MPa
- Kuat Tarik strand = $f_{pu} = 1860$ MPa
- Diameter Nominal strands = 12,7 mm = 1/2 inch
- Luas tampang nominal satu strands = $A_{st} = 100$ mm²
- Beban putus (P_b) = 183,70 kN (100 % UTS atau 100% beban putus)
- Jumlah kawat untai (strands cable) = 22 kawat untai/tendon
- Diameter selubung ideal = 76 mm
- Luas tampang strands = 22×100 mm² = 2200 mm² – (15% x 2200) = 1880 mm²
- Tipe Angkur = VSL Type E 5-22 Stressing Anchorage



Gambar 6. Angkur VSL type E stressing anchorage dan duct untuk tendon

- Jenis strand : *Uncoated Seven Wire Super Strands* ASTM A-416-06 Grade 270
- Tegangan leleh strand = $f_{py} = 1675$ MPa
- Kuat Tarik strand = $f_{pu} = 1860$ MPa
- Diameter Nominal strands = 12,7 mm = 1/2 inch
- Luas tampang nominal satu strands = $A_{st} = 100$ mm²
- Beban putus (P_{bs}) = 183,70 kN (100 % UTS atau 100% beban putus)
- Jumlah kawat untai (*strands cable*) = 31 kawat untai/tendon
- Diameter selubung ideal = 100 mm
- Luas tampang strands = 31×100 mm² = 3100 mm² – (15% x 3100) = 2635 mm²
- Tipe Angkur = VSL Type E 5-31 Stressing Anchorage

3.5. Data Sekunder Jembatan

Mutu beton untuk slab lantai jembatan :

- Mutu beton lantai jembatan = K-500
- Kuat tekan beton = f_c'
- = $0,83 \times (500/10) = 41,50$ MPa

a. Memvisualisasikan Dalam Bentuk Gambar Kerja

Merupakan proses memvisualisasikan hasil perhitungan dan analisis ke dalam bentuk gambar kerja adalah memberikan gambaran

keseluruhan mengenai bentuk struktur yang telah dirancang dari perencanaan jembatan layang (*Fly over*) yang menggunakan struktur tipe gelegar kotak (*box girder*) dengan beton prategang (*Prestressed Concrete*) pada pertemuan Jalan Mayor dan Jalan Soekarno-Hatta, Kabupaten Kubu Raya.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Perencanaan Dimensi Box Girder Prestress

Tinggi komponen beton prategang untuk bentang sederhana :

- pelat lantai : $h \geq L/30$
- *box girder* : $h \geq L/25$
- gelagar : $h \geq L/20$

Sedangkan untuk bentang menerus tinggi komponen dapat dikurangi 10%.

Untuk Bentang Sederhana

Tinggi *box girder* $H = 2,80$ m
Syarat $L/25 = 2,4$ m

Syarat $H \geq L/25$ Benar

Berdasarkan Bentang Menerus

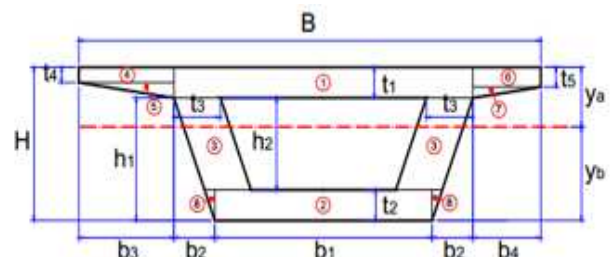
Tinggi *box girder* $H = 2,80$ m
 $10\% \times H = 0,28$ m

Tinggi *box girder* minimum $H = 2,52$ m
Syarat $L/25 = 2,4$ m

Syarat $H \geq L/25$ Benar

Jadi, Tinggi *box girder* memenuhi persyaratan untuk digunakan adalah $H = 2,80$ m

4.2. Penentuan Section Properties Box Girder Prestress

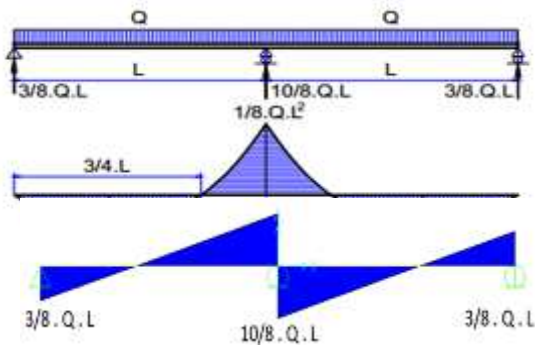


Gambar 7. Pembagian luasan dimensi

Tabel 3. Hasil Analisa Momen Inersia Penampang *Box Girder*

No	Dimensi	Shape	Jumlah	Luas	Jarak	Statik	Inersia	Inersia
	Lebar (m)	Tinggi (m)	Factor	Tampang	terhadap	Momen	Momen	Momen
			r	A (m²)	Alas y (m)	$A \times y$ (m³)	$A \times y^2$ (m⁴)	I_x (m⁴)
1	5,30	0,65	1,0	3,575	2,475	8,848	21,899	0,12587
2	3,88	0,65	1,0	2,522	0,325	0,820	0,266	0,08880
3	0,85	1,38	1,0	2,550	1,400	3,570	4,998	0,47873
4	1,75	0,40	1,0	0,700	2,600	1,820	4,732	0,00933
5	1,75	0,25	0,5	0,219	2,317	0,507	1,174	0,00076
6	1,25	0,50	1,0	0,625	2,550	1,594	4,064	0,00302
7	1,25	0,15	0,5	0,094	2,250	0,211	0,475	0,00012
8	0,24	0,65	0,5	0,158	0,433	0,068	0,030	0,00037
				10,442		17,438	37,638	0,71973

Mutu Beton	K -	=	500
Kuat tekan beton	f'_c	=	$0.83 \times K / 10$
		=	41,50 MPa
Berat beton	w_c	=	25,50 kN/m³
		=	2550,00 kg/m³
Modulus elastik	E_c	=	$0.043 \times W_c^{1.5} \times \sqrt{f'_c}$
		=	35669,97 MPa
Angka Poisson	ν	=	0,2
Modulus geser	G	=	$E_c / [2 \times (1 + \nu)]$
		=	14862,49 MPa
Koefisien muai panjang untuk beton	α	=	0,00001 / °C

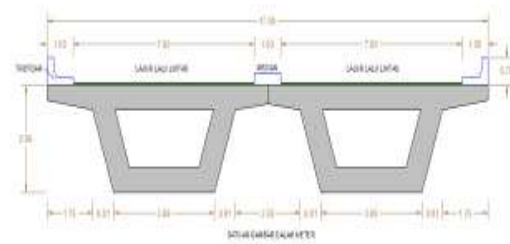


Gambar 8. Momen dan gaya geser yang terjadi

Akibat Berat Sendiri *Box Girder*

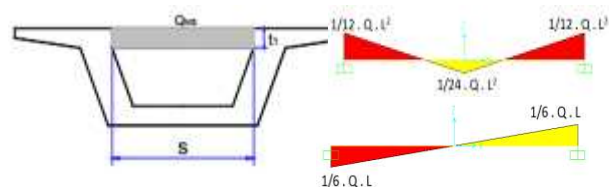
Gaya geser maksimum di Tumpuan tengah	V_{bs}	=	$10/8 \times Q_{bs} \times L$
		=	19971,00 kN
Gaya geser maksimum di Tumpuan tepi	V_{bs}	=	$3/8 \times Q_{bs} \times L$
		=	5991,30 kN
Momen positif maksimum	M_{bs+}	=	$9/128 \times Q_{bs} \times L^2$
		=	67402,12 kNm
Momen negatif maksimum	M_{bs-}	=	$9/128 \times Q_{bs} \times L^2$
		=	119825,99 kNm

4.3. Penentuan Data Slab Lantai Jembatan



Gambar 9. Penampang *box girder* sebagai slab

Tinggi <i>box girder prestress</i>	H	=	2,80 m
Luas penampang <i>box girder prestress</i>	A	=	10,44 m²
Letak titik berat	y_b	=	$\sum A \times y / \sum A$
		=	1,67 m
	y_a	=	$h - y_b$
		=	1,13 m
Momen inersia terhadap Alas balok	I_b	=	$\sum A \times y^2 + \sum I_0$
		=	38,36 m⁴
Momen inersia terhadap Titik berat balok	I_x	=	$I_b - A \times y_b^2$
		=	9,24 m⁴
Tahanan momen sisi Atas	W_a	=	I_x / y_a
		=	8,17 m³
Tahanan momen sisi Bawah	W_b	=	I_x / y_b
		=	5,53 m³
Berat beton <i>prestress</i>	w_c	=	25,5 kN/m³
Berat sendiri <i>box girder prestress</i>	Q_{bs}	=	$A \times w_c$
		=	266,28 kN/m
Panjang bentang <i>box girder</i>	L	=	60,00 m
Keliling penampang <i>box girder prestress</i>	K	=	$B + b_3 + b_2 + b_1 + b_2 + b_4 + H$
		=	19,80 m
Tebal slab lantai jembatan	h	=	0,65 m
Tebal lapisan aspal	h_a	=	0,05 m
Tinggi genangan air hujan	t_h	=	0,05 m
Bentang slab	S	=	3,88 m
Lebar jalur lalu lintas	b_1	=	7,00 m
Lebar trotoar	b_2	=	1,00 m
Panjang bentang jembatan	L	=	60,00 m



Gambar 10. Letak slab lantai sebagai beban, bentuk diagram momen dan geser

4.4. Penentuan Bahan Struktur Slab Lantai Jembatan (Specific Gravity, Mutu Beton, dan Mutu Baja)

Tabel 4. Berat Sendiri Bahan

Specific Gravity		kN/m ³
Berat Beton Prategang	w_c	25,50
Berat Beton Bertulang	w'_c	25,00
Berat Beton Tidak Bertulang	w''_c	24,00
Berat Aspal	w_a	22,00
Berat Jenis Air	w_w	9,80
Berat Baja	w_s	77,00

Mutu Baja

Untuk baja tulangan dengan $\phi >$	12 mm	U -	39
Tegangan leleh baja	f'_y	=	390 MPa
Untuk baja tulangan dengan $\phi \leq$	12 mm	U -	24
Tegangan leleh baja	f'_y	=	240 MPa

4.5. Analisis Beban pada Slab Lantai Jembatan

Tabel 5. Hasil Analisa Momen Ultimit

No.	Jenis Beban	Kode	Faktor Beban	Momen (kN)	MU = K x M (kNm)
1	Berat Sendiri (MS)	KMS	1,3	20,39	26,50
2	Beban Mati Tambahan (MA)	KMA	2,0	1,99	3,99
3	Beban Truk "T" (TT)	KTT	2,0	63,05	126,10
4	Beban Angin (EW)	KEW	1,2	0,49	0,59
5	Pengaruh Temperatur	KET	1,2	0,78	0,94
Total Momen Ultimit Slab				MU (kNm)	158,12

4.6. Perhitungan pada Slab Trotoar

Berdasarkan SNI 03-2847-2002 Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Pasal 9.12

- Pelat yang menggunakan batang tulangan ulir mutu 300 MPa, rasio tulangan minimum adalah 0.0020
- Pelat yang menggunakan batang tulangan ulir atau jaring kawat las (polos atau ulir mutu 400 MPa, rasio tulangan minimum adalah 0.0018
- Pelat yang menggunakan tulangan dengan tegangan leleh melebihi 400 MPa yang diukur pada regangan leleh sebesar 0,35%, maka rasio tulangan minimum adalah $(0.0018) 400 / f_y$

Rasio tulangan minimum	ρ_{MIN}	=	0,0018
Rasio tulangan yang digunakan	ρ	=	0,0024
Luas tulangan yang diperlukan	A_s	=	$\rho \times b \times d$
		=	1104,35 mm ²
Diameter tulangan yang digunakan	D	=	19 mm
Jarak tulangan yang diperlukan	s	=	$\pi / 4 \times D^2 \times b / A_s$
		=	256,74 mm
Digunakan Tulangan	D	=	19 - 200
	A_s	=	1417,65 mm ²

Kontrol lendutan slab

Lendutan Total pada plat lantai jembatan $L_x / 240 = 16,17$ mm

$$\delta_{Total} = 0,63 \text{ mm}$$

Syarat

$$\delta_{Total} < L_x / 240 \quad \text{AMAN OK.....!!!}$$

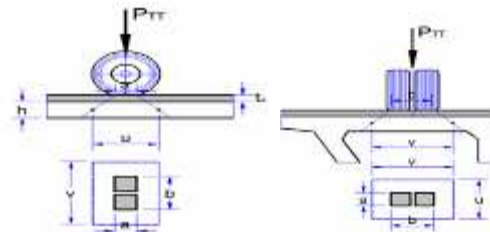
Kekuatan slab terhadap geser pons $\phi P_n = 2480,32$ kN

Faktor beban ultimit $K_{TT} = 2,0$

Beban ultimit roda truk pada slab $P_U = K_{TT} \times P_{TT} \times 10^{-3} = 260$ kN

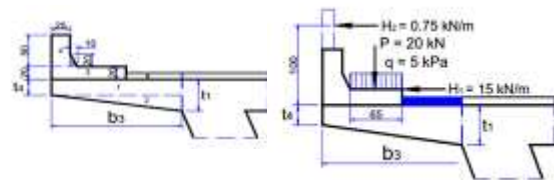
Syarat

$$P_U < \phi P_n \quad \text{AMAN OK.....!!!}$$



Gambar 11. Kuat geser roda truk pada slab lantai

4.7. Perhitungan pada Tiang Railing



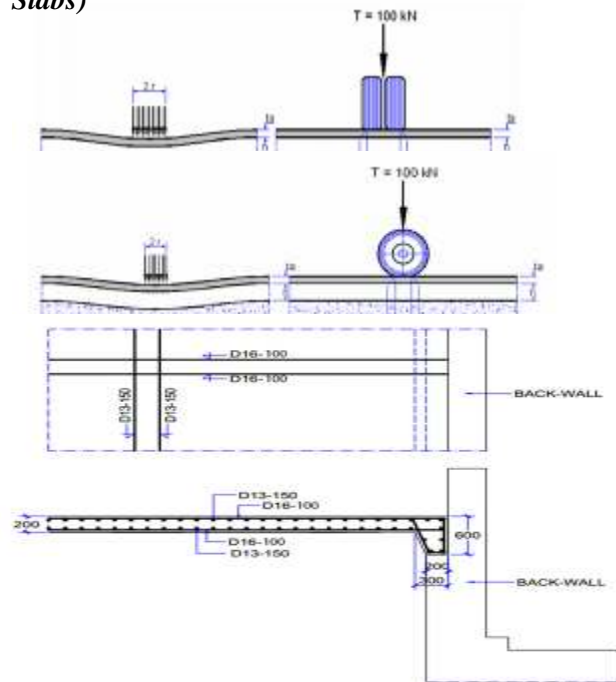
Gambar 12. Letak slab dan asumsi beban hidup pada trotoar

Tabel 6. Hasil Analisa Momen Trotoar Terhadap Penampang Box Girder

No	b (m)	h (m)	Shape	Luas (m ²)	Berat (kN/m)	Lengan (m)	Momen (kNm/m)
1	1,75	0,40	1	0,70	17,850	0,875	15,619
2	1,75	0,25	0,5	0,22	5,578	0,583	3,254
3	1,00	0,20	1	0,20	5,000	1,250	6,250
4	0,40	0,50	1	0,20	5,000	1,55	7,750
5	0,10	0,20	0,5	0,01	0,250	1,317	0,329
6	0,75	0,05	1	0,04	0,825	0,375	0,309
Total				P_{MS}	34,503	M_{MS}	33,511

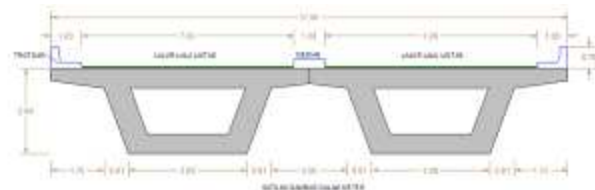
Faktor beban ultimit untuk berat sendiri pedestrian	K_{MS}	=	1,30
Faktor beban ultimit untuk berat hidup pedestrian	K_{TP}	=	2,00
Momen akibat berat sendiri pedestrian	M_{MS}	=	33,51 kNm
Momen akibat beban hidup pedestrian	M_{TP}	=	33,88 kNm
Momen ultimit rencana slab trotoar	M_U	=	$K_{MS} \times M_{MS} + K_{TP} \times M_{TP}$
		=	111,33 kNm

4.8. Perhitungan pada Plat Injak (Approach Slabs)



Gambar 13. Analisis perhitungan plat injak

4.9. Penentuan Bahan Struktur Box Girder



Gambar 14. Penampang box girder sebagai balok prategang

Tebal slab lantai jembatan	h	=	0,65	m
Tebal lapisan aspal + overlay	h_a	=	t_a	= 0,10 m
Tinggi genangan air hujan	t_h	=	0,05	m
Bentang slab	S	=	3,88	m
Lebar jalur lalu lintas	b_1	=	B	= 7,00 m
Lebar median	b_m	=	1,00	m
Tinggi median	h_m	=	0,30	m
Lebar trotoar	b_2	=	1,00	m
Panjang bentang jembatan	L	=	60,00	m
Jumlah box girder	n	=	2,00	unit

Mutu Beton	K	=	500
Kuat tekan beton	f'_c	=	$0.83 \times K / 10$ = 41,5 MPa
Berat beton	w_c	=	25,50 kN/m ³ = 2550,00 kg/m ³
Modulus elastik	E_c	=	$0.043 \times W_c^{1.5} \times \sqrt{f'_c}$ = 35669,97 MPa
Angka Poisson	ν	=	0,2
Modulus geser	G	=	$E_c / [2 \times (1 + \nu)]$ = 14862,49 MPa
Koefisien muai panjang untuk beton	α	=	0,00001 / °C
Kuat tekan beton pada saat keadaan awal (Saat Transfer)	f'_{ci}	=	$0.8 \times f'_c$ = 33,20 MPa

Berdasarkan SNI 03-2847-2002 Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Pasal 20.4 dan 20.5.

Tegangan ijin beton saat penarikan :	
Tegangan ijin tekan	= $0.55 \times f'_c$ = 18,26 MPa
Tegangan ijin tarik	= $0.25 \times \sqrt{f'_c}$ = 1,44 MPa
Tegangan ijin beton keadaan akhir :	
Tegangan ijin tekan	= $0.40 \times f'_c$ = 16,60 MPa
Tegangan ijin tarik	= $0.50 \times \sqrt{f'_c}$ = 3,22 MPa

Data Strands Cable - Standar VSL

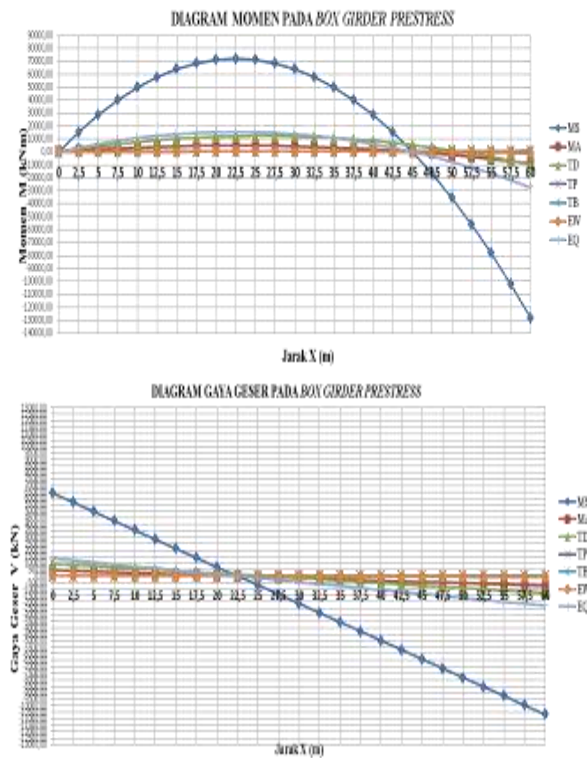
Jenis Strands	=	Uncoated 7 Wire Super Strands ASTM A-146-06 Grade 270
Tegangan leleh strand	f_{py}	= 1675000 kPa
Kuat tarik strand	f_{pu}	= 1860000 kPa
Diameter nominal strands		= 0,0127 m (0.5")
Luas tampang nominal satu strands	A_{st}	= 0,00010 m ²
Beban putus minimal satu strands	P_{bs}	= 183,70 kN (100% UTS Atau 100% Beban Putus)
Jumlah kawat untai (Strands Cable)		= 22 Kawat Untaian Tiap Tendon
Diameter selubung ideal		= 76 mm
Luas tampang strands		= 0,00217 m ²
Beban putus satu tendon	P_{b1}	= 4041,40 kN (100% UTS Atau 100% Beban Putus)
Modulus elastis strands	E_s	= 193000000 kPa
Tipe ankur		= VSL Type E 5-22 Stressing Anchorage

Jumlah kawat untai (Strands Cable)	=	31 Kawat Untaian Tiap Tendon
Diameter selubung ideal	=	100 mm
Luas tampang strands	=	0,00306 m ²
Beban putus satu tendon	P_{b1}	= 5694,70 kN (100% UTS Atau 100% Beban Putus)
Modulus elastis strands	E_s	= 193000000 kPa
Tipe ankur		= VSL Type E 5-31 Stressing Anchorage

4.10. Pembebanan pada Box Girder Prestress

Tabel 7. Jenis Beban dan Hasil Analisis yang didapatkan

No	Jenis Beban	Kode Beban	Q (kN/m)	P (kN)	M (kNm)	Keterangan
1	Beban Sendiri Box Girder	bs	266,28	-	-	Beban Merata, Q_{bs}
2	Beban Sendiri	MS	284,72	-	-	Beban Merata, Q_{MS}
3	Mata Tambahan	MA	19,67	-	-	Beban Merata, Q_{MA}
4	Lajur "D"	TD	37,50	378,13	-	Beban Merata, Q_{TD} & Terpusat, P_{TD}
5	Beban Pejalan Kaki	TP	2,03	-	-	Beban Merata, Q_{TP}
6	Gaya Rem	TB	-	-	757,53	Beban Momen, M_{TB}
7	Angin	EW	2,02	-	-	Beban Merata, Q_{EW}
8	Gempa	EQ	60,88	-	-	Beban Merata, Q_{EQ}



Gambar 15. Grafik diagram momen dan geser pada box girder prestress

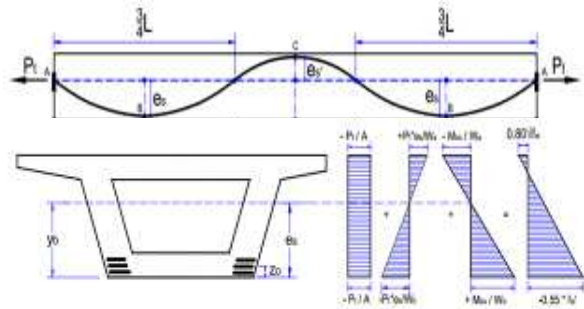
Tabel 8 .Kombinasi Beban di Tumpuan Tengah dan Tumpuan Tepi

Kombi Beban	Kode	Tumpuan Tengah				Tumpuan Tepi			
		Kombinasi I	Kombinasi II	Kombinasi III	Kombinasi IV	Kombinasi I	Kombinasi II	Kombinasi III	Kombinasi IV
		kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN
Berat Sendiri	MS	21354,00	21354,00	21354,00	21354,00	6406,20	6406,20	6406,20	6406,20
Mati	MA	1474,88	1474,88	1474,88	1474,88	442,46	442,46	442,46	442,46
Tambahan	TD	3332,42	3332,42	3332,42		961,91	961,91	961,91	
Lajur TP	TP		152,25				45,68		
Gaya Rem	TB	12,63				6,31			
Angin	EW			151,20				45,36	
Gempa	EQ				4565,77				1369,73
Jumlah	Σ	36173,92	26313,55	26312,50	27394,65	7816,89	7856,25	7855,94	8218,39

Reaksi Tumpuan Tengah Maksimum = 27394,65 kN
 Jumlah Port Bearing Tengah = 2
 Kapasitas Port Bearing Tengah $R_{\text{port-Bearing}}$ = 13697,32 kN
 Minimum yang Diperlukan \approx 14000 kN
 1400 Ton

Reaksi Tumpuan Tepi Maksimum = 8218,39 kN
 Jumlah Port Bearing Tepi = 2
 Kapasitas Port Bearing Tepi $R_{\text{port-Bearing}}$ = 4109,20 kN
 Minimum yang Diperlukan \approx 5000 kN
 500 Ton

4.11. Perhitungan Gaya Prestress, Eksentrisitas, dan Jumlah Tendon



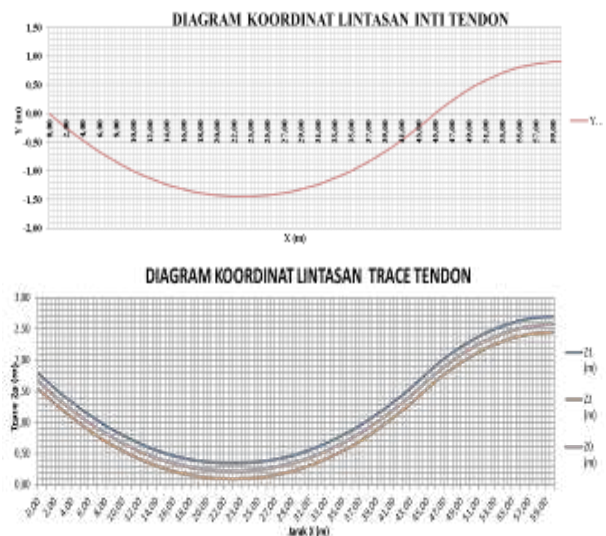
Gambar 16. Eksentrisitas tendon pada bentang menerus dan Tegangan yang terjadi

N_1	14	Tendon	22	Strands/Tendon =	308	Strands dengan Selubung Tendon =	76	mm
N_2	14	Tendon	22	Strands/Tendon =	308	Strands dengan Selubung Tendon =	76	mm
N_3	7	Tendon	31	Strands/Tendon =	217	Strands dengan Selubung Tendon =	100	mm
N_4	7	Tendon	31	Strands/Tendon =	217	Strands dengan Selubung Tendon =	100	mm
N_t	42	Tendon		Jumlah Strands n_s	1050	Strands		

$$P_{\text{eff}} = 45904,75 \text{ kN}$$

$$P_{\text{eff}}/P_j \cdot 100\% \times 100 = 40,57\% \text{ UTS}$$

4.12. Penentuan Posisi Tendon

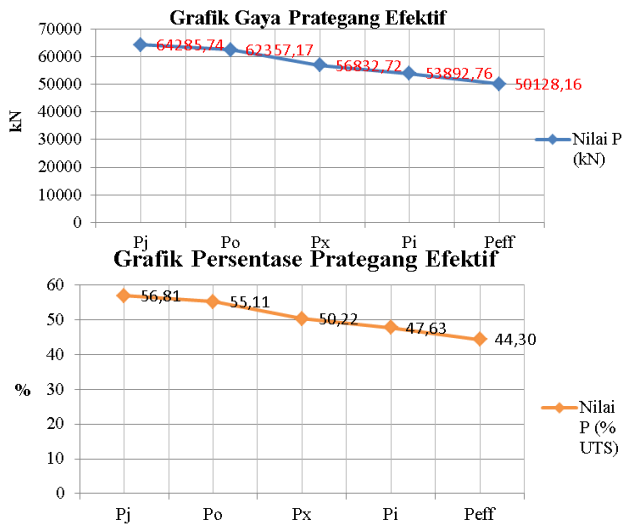


Gambar 17. Diagram Koordinat Lintasan Inti Tendon dan Lintasan Trace Tendon Box Girder

Tabel 9 . Sudut Angkur Tendon

No Tendon	Jumlah Strand	Diameter Sebung	Eksentrisitas	θ (m)	d_1/d_2	Sudut Angkur			
1	308	76	e_1	1,44	-0,128	a_1	-0,128	rad	-7,32°
2	308	76	e_2	1,44	-0,128	a_2	-0,128	rad	-7,32°
3	217	100	e_3	1,44	-0,128	a_3	-0,128	rad	-7,32°

4.13. Perhitungan Kehilangan Tegangan (Loss of Prestress)



Gambar 18. Nilai gaya dan persentase gaya yang hilang

4.14. Melakukan Kontrol Tegangan terhadap Kombinasi Pembebanan

Tabel 10. Kombinasi Pembebanan untuk Tegangan Ijin

Aksi/ Beban	Simbol	Kombinasi Pembebanan				
		1	2	3	4	5
A. Aksi Tetap						
Berat Sendiri	MS	✓	✓	✓		
Beban Mati Tambahan	MA	✓	✓	✓	✓	✓
Susat & Bangkai	SR	✓	✓	✓	✓	✓
Prategang	PR	✓	✓	✓	✓	✓
B. Aksi Transien						
Beban Lajur "D"	TD	✓	✓	✓	✓	
Beban Pejalan Kaki (Pedestrian)	TP	✓	✓	✓		
Gaya Rem	TB	✓	✓	✓	✓	
Aksi Lingkungan						
Pengaruh Temperatur	ET		✓		✓	
Beban Angin	EW			✓	✓	
Beban Gempa	EQ					✓

Tegangan Ijin Tekan Beton $= 4,40 f'_c = 16680,00 \text{ kPa}$
 Tegangan Ijin Tarik Beton $= 0,50 \sqrt{f'_c} = 3531,94 \text{ kPa}$

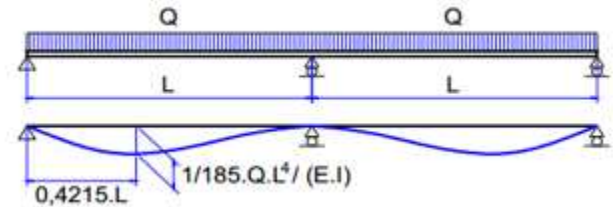
Tabel 4.38 Kombinasi Pembebanan - 5 di Daerah Momen Negatif

Tegangan	Berat Sendiri	Beban Mati Tambahan	Susat & Bangkai	Prategang (Prestress)	Beban Lajur "D"	Beban Pejalan Kaki	Beban Rem	Pengaruh Temperatur	Beban Angin	Beban Gempa	Tegangan Kombinasi
f_t	15672,79	1082,49	2635,03	-3821,35							3351,86
f_c	-23158,85	-1589,53	1095,66	13082,84							-4951,83

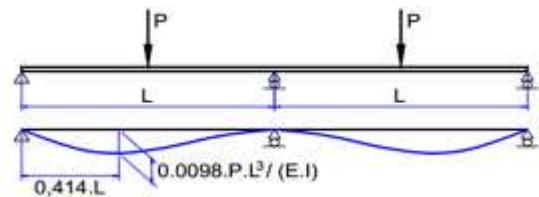
Kekurangan : $f_t < 0,50 \sqrt{f'_c}$ Aman (OK)
 $f_c < 4,40 f'_c$ Aman (OK)

4.15 Analisis Lendutan Box Girder

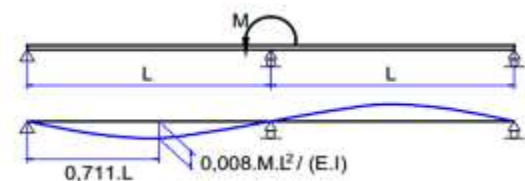
Lendutan ketika *box girder* menerima beban terbagi merata



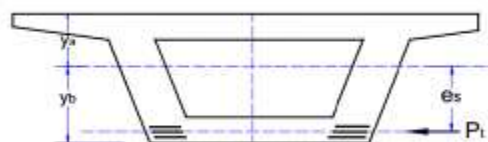
Lendutan pada *box girder* akibat beban terpusat



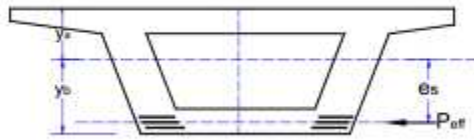
Lendutan *box girder* di tumpuan tengah akibat momen



Pada Keadaan Awal (Transfer)



Setelah Loss of Prestress



4.16. Melakukan Tinjauan Ultimit Box Girder Prestress

Kapasitas Momen Positif Ultimit

Tabel 11. Resume Momen Positif Balok

Aksi / Beban	Simbol	Faktor Beban Ultimit	Momen		Momen Ultimit	
			M	(kNm)	M _u	(kNm)
A. Aksi Tetap						
Berat Sendiri	K _{SD}	1,35	M _{SD}	7349,54	K _{SD} x M _{SD}	9909,67
Beban Mati Tambahan	K _{MA}	2,00	M _{MA}	4977,50	K _{MA} x M _{MA}	9955,41
Susat & Rangsang	K _{SR}	1,00	M _{SR}	7388,46	K _{SR} x M _{SR}	7388,46
Prestressing	K _{PS}	1,00	M _{PS}	-7343,95	K _{PS} x M _{PS}	-7343,95
B. Aksi Transien						
Beban Lajur "D"	K _{LD}	2,00	M _{LD}	13037,11	K _{LD} x M _{LD}	26074,22
Beban Pejalan Kaki (Pedestrian)	K _{PP}	2,00	M _{PP}	513,84	K _{PP} x M _{PP}	1027,69
Gaya Rara	K _{GR}	2,00	M _{GR}	578,76	K _{GR} x M _{GR}	757,53
Aksi Lingkungan						
Pengaruh Temperatur	K _{ET}	1,20	M _{ET}	2853,77	K _{ET} x M _{ET}	3066,93
Beban Angin	K _{EP}	1,20	M _{EP}	518,30	K _{EP} x M _{EP}	612,36
Beban Gempa	K _{EG}	1,00	M _{EG}	15409,49	K _{EG} x M _{EG}	15409,49

Kapasitas Momen Positif Balok $M_u = \phi \times M_n = 11486,434 \text{ kNm}$

Kombinasi - 2 Momen Ultimit Positif pada Box Girder (kNm) Akibat Beban
Tabel 4.49 Kombinasi Momen Positif Ka - 2

Momen Ultimit	Berat Sendiri	Beban Mati Tambahan	Susat & Rangsang	Prestressing	Beban Lajur "D"	Beban Pejalan Kaki	Beban Rara	Pengaruh Temperatur	Beban Angin	Beban Gempa	Momen Ultimit Kombinasi
M _u	9904,67	9955,41	7388,46	-7343,95	26074,22	1027,69	757,53	3066,92	-612,36	15409,49	68933,94

Keterangan : Simbol Momen Ultimit Kombinasi < Kapasitas Momen Positif Balok

$M_u < M_{u, \text{kap}}$

Tabel 12. Resume Momen Negatif Balok

Aksi / Beban	Simbol	Faktor Beban Ultimit	Momen		Momen Ultimit	
			M	(kNm)	M _u	(kNm)
A. Aksi Tetap						
Berat Sendiri	K _{SD}	1,35	M _{SD}	7349,54	K _{SD} x M _{SD}	9904,67
Beban Mati Tambahan	K _{MA}	2,00	M _{MA}	4977,50	K _{MA} x M _{MA}	9955,41
Susat & Rangsang	K _{SR}	1,00	M _{SR}	7388,46	K _{SR} x M _{SR}	7388,46
Prestressing	K _{PS}	1,00	M _{PS}	-7343,95	K _{PS} x M _{PS}	-7343,95
B. Aksi Transien						
Beban Lajur "D"	K _{LD}	2,00	M _{LD}	13037,11	K _{LD} x M _{LD}	26074,22
Beban Pejalan Kaki (Pedestrian)	K _{PP}	2,00	M _{PP}	513,84	K _{PP} x M _{PP}	1027,69
Gaya Rara	K _{GR}	2,00	M _{GR}	578,76	K _{GR} x M _{GR}	757,53
C. Aksi Lingkungan						
Pengaruh Temperatur	K _{ET}	1,20	M _{ET}	2853,77	K _{ET} x M _{ET}	3424,52
Beban Angin	K _{EP}	1,20	M _{EP}	518,30	K _{EP} x M _{EP}	612,36
Beban Gempa	K _{EG}	1,00	M _{EG}	15409,49	K _{EG} x M _{EG}	15409,49

Kapasitas Momen Negatif Balok $M_u = \phi \times M_n = 17533,96 \text{ kNm}$

Kombinasi - 2 Momen Ultimit Negatif pada Box Girder (kNm) Akibat Beban

Tabel 4.55 Kombinasi Momen Negatif Ka - 2

Momen Ultimit	Berat Sendiri	Beban Mati Tambahan	Susat & Rangsang	Prestressing	Beban Lajur "D"	Beban Pejalan Kaki	Beban Rara	Pengaruh Temperatur	Beban Angin	Beban Gempa	Momen Ultimit Kombinasi
M _u	16651,19	17698,50	13136,81	-17455,95	42257,81	1827,00	1515,05	5452,31	-1888,64	27994,65	73892,71

Keterangan : Simbol Momen Ultimit Kombinasi < Kapasitas Momen Negatif Balok

$M_u < M_{u, \text{kap}}$

4.17. Pembesian pada End Block

Tabel 13. Perhitungan Sengkang Arah Vertikal

No CABLE	Angkur VSL		Angkur VSL		P _j	a _s (mm)	s (mm)	z _x	P _{bal} (kN)	A _{sv} (mm ²)	Jumlah Sengkang
	Pbs (kN)	Dim (mm)	Pbs (kN)	Dim (mm)							
1	4041,4	315	4041,4	315	3340,28	315	400	0,79	212,94	0,0011	2,76
2	4041,4	315	4041,4	315	3340,28	315	400	0,79	212,94	0,0011	2,76
3	5694,7	370	5694,7	370	4706,76	370	470	0,79	300,43	0,0016	3,90

Tabel 14. Perhitungan Sengkang Arah Horizontal

No CABLE	Angkur VSL		Angkur VSL		P _j	a _s (mm)	s (mm)	z _x	P _{bal} (kN)	A _{sv} (mm ²)	Jumlah Sengkang
	Pbs (kN)	Dim (mm)	Pbs (kN)	Dim (mm)							
1	4041,4	315	4041,4	315	3340,28	315	400	0,79	212,94	0,0011	2,76
2	4041,4	315	4041,4	315	3340,28	315	400	0,79	212,94	0,0011	2,76
3	5694,7	370	5694,7	370	4706,76	370	470	0,79	300,43	0,0016	3,90

Tabel 15. Jumlah sengkang yang digunakan untuk Bursting force

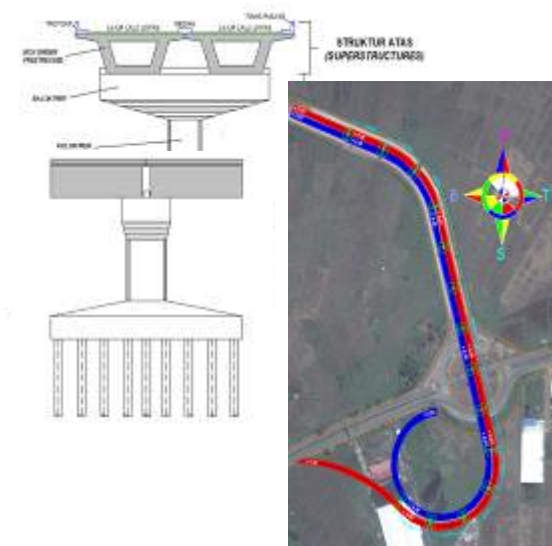
No CABLE	Angkur VSL		Angkur VSL		Jumlah Sengkang	
	Pbs (kN)	Dim (mm)	Pbs (kN)	Dim (mm)		
1	4041,4	315	4041,4	315	3,90	5
2	4041,4	315	4041,4	315	3,90	5
3	5694,7	370	5694,7	370	3,90	5

Tabel 16. Hasil Perhitungan Jarak Sengkang untuk Geser pada Box Girder

X (m)	Jarak Sengkang D		16	mm
	Tinjauan Geser - 1 (mm)	Tinjauan Geser - 2 (mm)		
5,0	75	145	145	100
7,5	123	241	241	200
10,0	204	405	405	200
12,5	354	708	708	200
15,0	676	1359	1359	200
17,5	1570	3172	3172	200
20,0	6019	12190	12190	200
22,5	1038301	2104912	2104912	200

5. KESIMPULAN

1. Pada jembatan layang (*flyover*) untuk pertemuan Jalan Mayor Aliyung dan Jalan Soekarno-Hatta, Kabupaten Kubu Raya ini direncanakan sebagai jembatan kelas I yang harus memiliki beban rencana lalu lintas sebesar 100% dari beban seluruhnya. Dengan lebar jalur lalu lintas 7,00 m (lajur ganda) bermedan 1,00 m ditambah 1,00 m lebar trotoar untuk pejalan kaki dan sandaran pada kanan dan kiri jembatan sehingga harus menggunakan 2 unit box girder dengan bentang jembatan 60 m.



Gambar 19. Denah dan gambaran umum struktur

2. Girder yang digunakan berupa beton prategang tipe box girder berbentuk trapesium dengan spesifikasi : tinggi girder 2,80 m, lebar jembatan 2 x 8,50 m, mutu beton prategang *box girder* K-500 ($f_c' = 41,50$ MPa), dan mutu beton pelat / slab lantai jembatan K-500 ($f_c' = 41,50$ MPa).
3. Untuk tendon prategang pada desain satu box girder digunakan 42 tendon yang masing-masing terdiri atas :
 - a. 28 tendon dengan spesifikasi diameter nominal strands 12,7 mm (0,5") berjumlah 22 kawat jenis *uncoated 7 wire super strands* ASTM A-416-06 grade 270 setiap 1 tendon.
 - b. 14 tendon dengan spesifikasi diameter nominal strands 12,7 mm (0,5") berjumlah 31 kawat jenis *uncoated 7 wire super*

strands ASTM A-416-06 grade 270 setiap 1 tendon.

4. Gaya prategang awal 85290,81 kN, mengalami kehilangan prategang total sebesar 22,02 % sehingga tersisa tegangan efektif 50128,16 kN dari gaya prategang akibat jacking force sebesar 64285,74 kN. Digunakan tegangan efektif 70%, sebesar 45000,02 kN dari gaya prategang akibat jacking force 100% UTS yaitu 113159,20 kN.
5. Digunakan tulangan longitudinal pada plat bagian atas D19 dengan jarak 200 mm, pada plat dinding bagian badan D19 dengan jarak 150 mm, dan plat bagian bawah D19 dengan jarak 200 mm.
6. Tulangan geser yang digunakan D16 dengan variasi jarak di daerah tumpuan sampai tengah bentang : 100 mm dan 200 mm
7. Jumlah sengkang yang dibutuhkan untuk *bursting force* pada tendon baris 1 dan baris 2 adalah sebanyak 5 buah D 16 – 75 mm pada plat angkur VSL Type E 5-22 *Stressing Anchorage* berukuran 315 mm x 315 mm sedangkan tendon baris 3 adalah sebanyak 5 buah D 16 – 60 mm pada plat angkur VSL Type E 5-31 *Stressing Anchorage* berukuran 370 mm x 370 mm.
8. Terdapat 23 tahapan dalam proses perhitungan dan analisis struktur jembatan layang yang telah disusun ini sehingga dapat memberikan sedikit gambaran tentang penerapan struktur beton prategang (*prestressed concrete*) pada penampang *box girder*.
9. Dalam penyusunan skripsi ini penulis sendiri masih merasa banyak informasi yang harus dipelajari tentang gambaran perencanaan maupun pelaksanaan yang sebenarnya karena tidak pernah mendapatkan pengalaman secara langsung di Lapangan, misalnya hanya menggunakan beberapa referensi buku-buku beton prategang yang diterbitkan, website-website online maupun laporan kuliah kerja praktek mahasiswa tentang "Proyek Jalan Layang Non Tol" di Jakarta yang dipublikasikan secara online.

DAFTAR PUSTAKA

- Budiadi, A. 2008. *Desain Praktis Beton Prategang*. Yogyakarta: Andi Yogyakarta
- Departemen Pekerjaan Umum. 1987. *Pedoman Perencanaan Pembebanan Jembatan Jalan Raya*. Jakarta:
- Ilham, M.N. 2010. *Perencanaan Kentungan Flyover Yogyakarta*. September 3, 2010.
<http://noerilham01.blogspot.com/2010/09/kentungan-fly-over.html>
- Lin, T.Y dan Burns N.H. 2000. *Desain Struktur Beton Prategang Edisi Ketiga Jilid 1*. Jakarta: Binarupa Aksara
- Lin, T.Y dan Burns N.H. 2000. *Desain Stuktur Beton Prategang Edisi Ketiga Jilid 2*. Batam: Interaksara
- Nasution, T. 2012. *Modul Kuliah Struktur Baja 2 : Pengenalan Jembatan Baja*. April 21, 2012. Departemen Teknik Sipil, FTSP. ITM.
<http://thamrinnst.wordpress.com/2012/04/21/290/>
- Nawy, E.G. 2009. *Prestressed Concrete : A Fundamental Approach Fifth Edition Update ACI, AASHTO, IBC 2009 Codes Version*, 2010. United States of America : Pearson Education, Inc., Upper Saddle River, New Jersey 07458
- Nawy, E.G. 2001. *Beton Prategang Suatu Pendekatan Mendasar, Edisi Ketiga Jilid 1*. Jakarta: Erlangga
- Restiana, R.R. 2014. *Perencanaan Jembatan Layang untuk Pertemuan Jalan Mayor Alianyang dan Jalan Soekarno – Hatta Kabupaten Kubu Raya*. Pontianak: Universitas Tanjungpura.
- Ricketts, J.T.; Loftin, M.K.; Merritt, F.S. 2003. *Standard Handbook for Civil Engineers Fifth Edition*, 2004. United States of America : McGraw-Hill Companies, Inc.
- RSNI T-12-2004. *Perencanaan Struktur Beton Untuk Jembatan*. Badan Standarisasi Nasional Indonesia
- RSNI T-02-2005. *Standar Pembebanan untuk Jembatan*. Badan Standarisasi Nasional Indonesia
- Siswanto, Fredy. 2013. *Perencanaan Jembatan Beton Prategang Dengan Bentang 35 Meter (Jembatan Kelas I)*. Pontianak: Universitas Tanjungpura.
- Supartono, F.X.. *Perancangan Struktur Beton Pratekan Berdasarkan RSN-2004 (Jembatan Beton)*. Bahan Kuliah Struktur Beton III
- Zilm, F. 2009. *Design Of A Curved Pedestrian Bridge*. October 13, 2009. University of Hamburg/Harburg, Diplom-Ingenieur in Civil and Environmental Engineering.
<http://ebookteknik001.blogspot.com/>